

Новая версия системы «Штурман»

© Д. А. Аксим¹, Г. А. Космодамианский¹, М. В. Лукашова¹, Д. А. Павлов²,
В. И. Скрипниченко¹

¹ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
²СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Публикация посвящена новой версии интерактивной системы удалённого доступа для морской астронавигации «Штурман». В статье описаны функциональные возможности системы, некоторые особенности её реализации, а также представлены примеры результатов, которые можно получить при работе с данной системой. Она также позволяет решать задачи, включённые в издаваемый ИПА РАН Морской Астрономический Альманах.

Первая версия системы «Штурман» была опубликована на сайте ИПА РАН в 2009 г. Необходимость создания новой версии обусловлена двумя следующими обстоятельствами:

— во-первых, процесс внесения изменений в прежнюю версию в ходе её использования был крайне затруднительным;

— во-вторых, появилась возможность создания кроссплатформенной версии системы «Штурман» при использовании инструментария открытого доступа, включающего гибкие средства web-программирования.

Как и в прежней версии, в качестве базового вычислительного средства в ИПА РАН используется предметно-ориентированная система ЭРА, являющаяся на протяжении нескольких десятилетий инструментальным средством в области фундаментальной эфемеридной астрономии. Основные вычислительные программы написаны на входном языке этой системы. Используются также инструментальные возможности кроссплатформенной среды Racket, в частности средства web-программирования. Для оформления выдаваемых текстовых результатов применяется язык разметки Markdown. Соответствующие элементы разметки вставлены непосредственно в тексты вычислительных программ системы «Штурман». Программа отображения графических результатов написана на языке Си с использованием библиотеки векторной графики. В качестве базового фундамента для необходимых эфемеридных вычислений в системе «Штурман» использована разработанная в ИПА РАН высокоточная численная теория движения тел Солнечной системы ЕРМ.

Система «Штурман» размещена на сайте ИПА РАН и используется в основном в учебной практике мореходных учебных заведений. По мере поступления отзывов пользователей проводится корректировка системы и расширение её функциональных возможностей.

Ключевые слова: морская астронавигация, вычисление эфемерид, морской астрономический альманах, интерактивный режим удалённого доступа, веб-сервер, язык СЛОН, язык Си.

Контакты для связи: Космодамианский Георгий Александрович (ga.kosmodamianskiy@iaaras.ru).

Для цитирования: Аксим Д. А., Космодамианский Г. А., Лукашова М. В., Павлов Д. А., Скрипниченко В. И. Новая версия системы «Штурман» // Труды ИПА РАН. 2024. Вып. 69. С. 3–7.
<https://doi.org/10.32876/AplAstron.69.3-7>

New Version of the Shturman System

D. A. Aksim¹, G. A. Kosmodamianskiy¹, M. V. Lukashova¹, D. A. Pavlov²,
V. I. Skripnichenko¹

¹Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia
²Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint Petersburg, Russia

Abstract

The paper is devoted to a new version of the Shturman interactive remote access system for nautical astronavigation. The paper also describes the functionality of the system, some features of its implementation, and provides examples of the results produced by the system. The Shturman system allows solving problems included in the Nautical Astronomical Almanac published by the IAA RAS.

The first version of this system was published on the IAA RAS website in 2009. The need to work out a new version is due to the following two circumstances:

— Firstly, the process of making changes to the previous version during putting it into use was very difficult;

— In addition, it became possible to make a cross-platform version of the Shturman system using open-access tools which also includes flexible web-programming tools.

As in the previous version, the subject-oriented ERA system is used as a basic computing facility which has been an instrumental tool for the research in the field of fundamental ephemeris astronomy carried out at the IAA RAS for sever-

al decades. The main computer programs are written in the input language of this system. The tools of the cross-platform Racket environment were also used, in particular, the web programming tools provided by this environment. The Markdown markup language is used to format the output text results. The corresponding markup elements are inserted directly into the texts of the computer programs of the Shturman system. The program for displaying graphical results is written in C language using the vector graphics library. As a basic foundation for the necessary ephemeris calculations, the Shturman system uses a high-precision numerical theory of the motion of bodies in the Solar System EPM that was developed at the IAA RAS.

The Shturman system is posted on the IAA RAS website and is used mainly in the educational practice of maritime educational institutions. As user feedbacks are received, the system is adjusted and its functionality is expanded.

Keywords: nautical celestial navigation, ephemeris computation, nautical astronomical almanac, interactive mode of remote access, web server, SLON language, C language.

Contacts: Georgy A. Kosmodamiansky (ga.kosmodamianskiy@iaaras.ru).

For citation: Aksim D. A., Kosmodamiansky G. A., Lukashova M. V., Pavlov D. A., Skripnichenko V. I. New version of the Shturman system // Transactions of IAA RAS. 2024. Vol. 69. P. 3–7.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.69.3-7>

Введение

К настоящему моменту в повседневной практике применяются современные методы морской навигации, основанные на использовании системы ГЛОНАСС, GPS и т. д. Однако овладение навыками астронавигации классическими методами, которые основаны на использовании оптических наблюдений небесных светил, по-прежнему входит в программу обучения штурманов мореходных учебных заведений. При решении астронавигационных задач используются «Морской астрономической ежегодник» (МАЕ, 2024) и «Морской астрономический альманах» (МАО, 2023). МАО в целом является аналогом МАЕ, но рассчитан на два года использования. В объяснение к МАО, кроме примеров по эфемеридным вычислениям, также включены примеры решения некоторых астронавигационных задач, которых нет в объяснении к МАЕ.

Система «Штурман» ([«Штурман»](#)) предоставляет возможность решать задачи МАО в интерактивном режиме удалённого доступа, включая основные навигационные задачи, такие как определение поправки компаса и определение места судна по наблюдениям светил.

Задачи, решаемые с помощью системы «Штурман»

В новой версии системы «Штурман» полностью реализован перечень всех задач, объявленных в её предыдущей версии ([Glebova et al., 2009](#)). Ниже приводится систематизированный по разделам список задач, которые можно решить в системе новой версии.

Часовые углы, склонения и звёздные дополнения светил

1. Вычисление местного звёздного времени, часового угла и склонения звезды.
2. Вычисление местных часовых углов и склонений Солнца и Луны.
3. Вычисление местного часового угла и склонения планеты.

Восходы, заходы и верхние кульминации Солнца, сумерки

4. Вычисление T_c восхода, захода, верхней кульминации Солнца и начала утренних и вечерних наблюдений.

5. Вычисление $T_{гр}$ начала и конца утренних и вечерних гражданских и навигационных сумерек.

Азимуты видимых восходов и заходов Солнца

6. Вычисление значений азимутов Солнца на восходе и заходе.

Восходы, заходы и кульминации Луны

7. Вычисление T_c восхода и захода Луны.

Вычисление широты по Полярной звезде

8. Определение широты места по высоте Полярной.

Вычисление эфемерид на следующий год

9. Вычисление гринвичского часового угла $t_{гр}$ и склонения Солнца.

10. Вычисление гринвичского часового угла $t_{гр}^Y$.

11. Вычисление координат τ^* и δ звезды.

Карты звёздного неба, список звёзд

12. Определение звезды по высоте и азимуту.

Азимут Полярной

13. Определение азимута Полярной по таблице.

14. Вычисление азимута Полярной.

Исправление высоты светил

15. Исправление высот звезды, Солнца, Луны.

Определение поправки компаса

16. Общий метод.

17. Определение поправки компаса по восходу (заходу) Солнца.

18. Определение поправки компаса по Полярной звезде.

Определение места судна

19. Определение места судна по наблюдениям звёзд.

20. Определение места судна по наблюдениям Солнца.

Таблицы для вычисления высот и азимутов (ТВА-52)

21. Вычисление высот и азимутов.

Особенности реализации новой версии системы «Штурман»

Теоретической основой вычисляемых эфемерид является созданная в ИПА РАН теория движения тел Солнечной системы EPM-2021 (Pitjeva et al., 2022). В качестве основного вычислительного средства используется система ЭРА-8 (Pavlov, Skripnichenko, 2015), реализованная в кроссплатформенной среде Racket. Как и в прежней версии, алгоритмическую основу системы «Штурман» составляют программы на языке СЛОН (входном языке системы ЭРА), которые используются при вычислении примеров, публикуемых в выпусках МАА. Использование системы ЭРА-8 взамен применявшихся в предыдущей версии систем ЭРА-7 (Krasinsky, Vasilyev, 2006) и Delta (Михеева, Скрипниченко, 2006) потребовало внести и некоторые изменения в вычислительные программы. В частности, применявшиеся в предыдущей версии процедуры, написанные на языке Pascal, в новой версии запрограммированы на языке Racket и теперь доступны другим приложениям, использующим систему ЭРА-8. Для удобства пользователей были также расширены возможности некоторых астронавигационных задач. Например, в задачах 19 и 20 добавлена возможность вводить наблюдения других навигационных светил, кроме тех, которые приводятся в примерах в объяснении к МАА. Предоставлена также возможность вычислять азимут и высоту в задаче 21 МАА. Более удобными и информативными стали диалоги, в частности выбор наблюдаемой звёзды.

Практически до предела упрощены средства управления видом изображения результатов работы системы на дисплее. Для этих целей используется язык разметки Markdown. Разметка преимущественно сводится к вставке символа «вертикальная черта» между каждыми соседними полями очередной строки «печатаемого» СЛОН-программой результата (иногда для обеспечения требуемого выравнивания приходится вставлять последовательность кодов пробелов:). Благодаря этому авторы вычислительных программ новой версии системы получили возможность управлять внешним видом текстового результата непосредственно в программе на языке СЛОН. Во все СЛОН-программы системы «Штурман» внесе-

ны дополнения, обеспечивающие выдачу соответствующим образом размеченных результатов исполнения этих программ.

На рис. 1 представлена стартовая страница 14-й задачи с исходными данными по умолчанию. На рис. 2 изображён промежуточный результат работы системы — выходной текст, генерируемый СЛОН-программой 14-й задачи для тех же исходных данных, на рис. 3 — финальный результат, выдаваемый веб-сайтом на основании этого промежуточного текста.

Для отображения графических результатов работы разработана функция на языке Си, использующая библиотеку векторной графики Cairo с открытым исходным кодом. Вычислительная СЛОН-программа формирует аргументы этой функции и инициирует запуск процесса её исполнения. Результатом работы этой функции является файл изображения в формате PNG.

Полностью переработаны и заменены веб-интерфейс и движок сайта. Система ЭРА-8 обладает возможностью работы в связке с веб-сервером, встроенным в платформу Racket, что и используется в системе «Штурман». Веб-формы пользовательских запросов с входными данными (дата, долгота и пр.) описаны на языке так называемых формлетов (formlets) и преобразуются в HTML с помощью средств Racket. Теми же средствами осуществляется синтаксический разбор и автоматический контроль заполненных запросов с диагностированием возможных ошибок ввода. Параметры запроса передаются в СЛОН-программу решаемой задачи системы «Штурман» в виде таблицы, сгенерированной в коде языка СЛОН.

Пример 14. Вычисление азимута Полярной

Параметры задачи

Дата ГГГГ ММ ДД

Момент наблюд. ЧЧ ММ СС
по хронометру

Долгота W ▼

Широта N ▼

Рис. 1. Скриншот стартового окна задачи 14

15 июля 2020 г., $T_{ГР} = 1^h 55^m 10^s$, $\varphi_c = 47.8^\circ N$, $\lambda_c = 50^\circ 01' W$.
 Вычислить азимут Полярной (№160).

```

||||| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|(с. 156) &nbsp;&nbsp;&nbsp; | *T~ГР = 1^ч^ | *t^ГР^ГР,Т~ | \|| 308°21' || *δ* | \|| 89°21'&nbsp;&nbsp;&nbsp; |N|
|(с. 329) &nbsp;&nbsp;&nbsp; | ΔT~ГР = 55^м^10^с^ | Δt^ГР^ГР~ | \|| 13&nbsp;&nbsp;&nbsp;50&nbsp;&nbsp;&nbsp; | | 90° - *δ* | \|| 0.65° ||
|| _____ | \|| _____ || sec *φ* | \|| 1.489 ||
|| | *t^ГР^ГР~ | \|| | 322°11' | \|| sin *t~ГР~ | \|| 0.743 ||
|| ^-^ *λ~W~ | \|| 50&nbsp;&nbsp;&nbsp;01 | \|| _____ | \|| _____ |
|| _____ | \|| _____ || ***A*** | \|| ***0.7°*** |&nbsp;&nbsp;&nbsp;NE|
|| *S~M~ = *t^ГР^ГР~ | \|| 272°10' | \|| _____ |
|(с. 157) | № 160 | ^-^ τ* | \|| 315&nbsp;&nbsp;&nbsp;50&nbsp;&nbsp;&nbsp; | \|| _____ |
|| _____ | \|| _____ ||
|| ***t~M~** | \|| ***228°00'*** | \|| _____ |
|| ***t~ГР~** | \|| ***132°00'***&nbsp;&nbsp;&nbsp; | \|| ***E = 132.0° E*** | \||
    
```

Рис. 2. Скриншот промежуточного текста, генерируемого СЛОН-программой по данным из рис. 1

Решение

15 июля 2020 г., $T_{ГР} = 1^h 55^m 10^s$, $\varphi_c = 47.8^\circ N$, $\lambda_c = 50^\circ 01' W$.

Вычислить азимут Полярной (№ 160).

(с. 156) $T_{ГР} = 1^h$	$t_{ГР,Т}$	308°21'	δ	89°21' N
(с. 329) $\Delta T_{ГР} = 55^m 10^s$	$\Delta t_{ГР}$	13 50	$90^\circ - \delta$	0.65°
	$t_{ГР}$	322°11'	sec φ	1.489
	λ_W	50 01	sin $t_{ГР}$	0.743
			A	0.7° NE
(с. 157) № 160	$S_M = t_M$	272°10'		
	τ^*	315 50		
	t_M	228°00'		
	$t_{ГР}$	132°00' E = 132.0° E		

Выдача результатов осуществляется программой в стандартном потоке вывода в формате Markdown; выходной поток впоследствии преобразуется в HTML и вместе с файлом графического результата в формате PNG передается на устройство пользователя.

На рис. 4 приводится один из примеров изображения графического результата решения задачи 19.

Рис. 3. Скриншот финального окна задачи 14

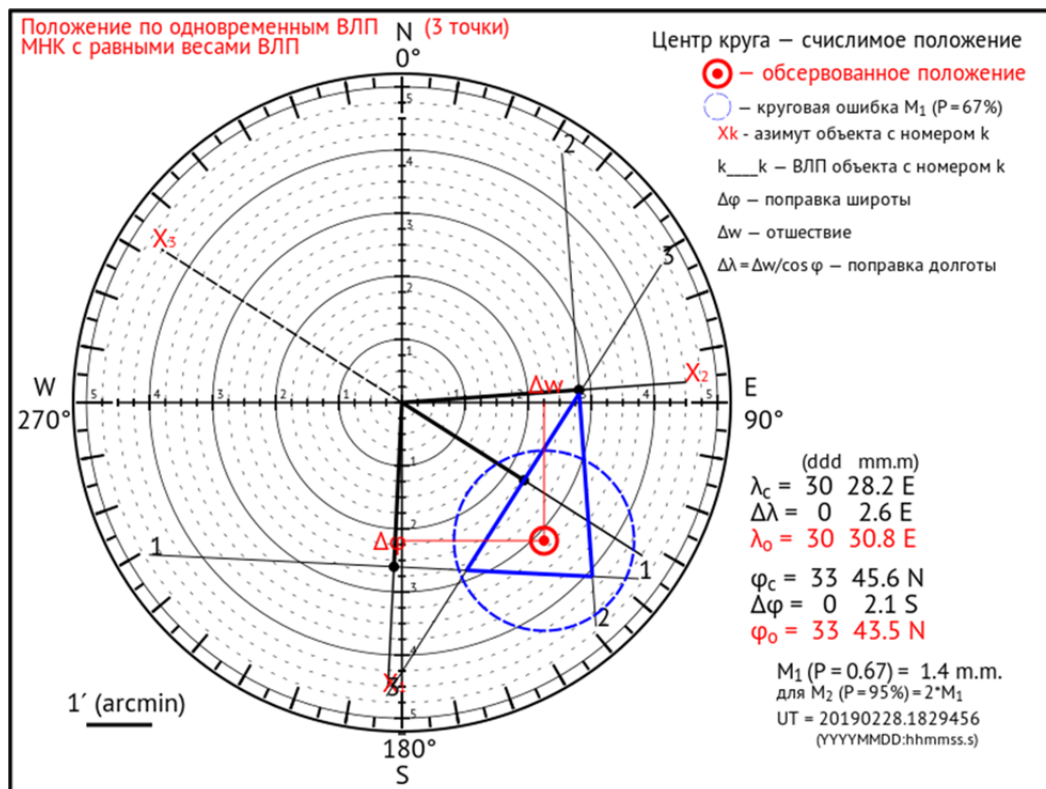


Рис. 4. Пример скриншота графического результата 19-й задачи

Заключение

Имеется ряд общедоступных отечественных и зарубежных специализированных онлайн-сервисов, используемых для высокоточного вычисления эфемерид. Наиболее известными из них являются отечественная [Онлайн-служба эфемерид](#) и американский сервис [JPL Horizons service](#). В отличие от таких сервисов, предназначенных только для вычисления эфемерид, в системе «Штурман» представлена также возможность решения астронавигационных задач. Британская система NavPac ([Admiralty Manual of Navigation, 2018](#)) позволяет решать и навигационные задачи, но — в отличие от системы «Штурман» — без возможности дистанционного доступа.

Новая версия системы [«Штурман»](#) доступна на сайте ИПА РАН. Основными пользователями системы являются учащиеся и преподаватели мореходных учебных заведений. Также система может использоваться профессионалами и любителями астрономии для вычисления с ограниченной точностью эфемерид светил и обстоятельств астрономических явлений (восходы, заходы и т. д.). По мере поступления отзывов пользователей новая версия системы корректируется и пополняется.

Благодарность

Авторы выражают благодарность М. Л. Свешникову как главному идеологу и автору программ для многих задач первой версии системы «Штурман».

Литература

Михеева В. Д., Скрипниченко В. И. Расширение языка Object Pascal (Delphi) таблично-ориентированными средствами решения задач эфемеридной астрономии // Сообщения ИПА РАН. 2006. № 168. С. 1–19.

Морской астрономический ежегодник на 2024 год / под ред. М. В. Лукашовой. СПб.: ИПА РАН, УНнО, 2023. 336 с.

Морской астрономический альманах на 2023–2024 гг./ под ред. Г. А. Космодамианского. СПб.: ИПА РАН, 2022. 390 с.

Онлайн-служба эфемерид [Электронный ресурс]. URL: <https://iaaras.ru/dept/ephemeris/online> (дата обращения: 10.11.2023).

Штурман [Электронный ресурс]. URL: <https://iaaras.ru/dept/yearbooks/shturman/> (дата обращения: 01.02.2024).

Cairo [Электронный ресурс]. URL: www.cairographics.org (дата обращения: 01.02.2024).

Glebova N. I., Kosmodamianskiy G. A., Lukashova M. V., et al. Russian astronomical yearbooks in editions and program systems // IAU XXVIIth General Assembly, Rio de Janeiro, Brazil. August 3–14, 2009. Abstract book, P. 278.

JPL Horizons service [Электронный ресурс]. URL: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app.html#/> (дата обращения: 10.11.2023).

Krasinsky G. A., Vasilyev M. V. ERA-7. Knowledge base and programming system for dynamical astronomy: manual. Saint-Petersburg: Institute of Applied Astronomy RAS, 2006.

Markdown [Электронный ресурс]. URL: <https://daringfireball.net/projects/markdown/syntax> (дата обращения: 10.11.2023).

Pavlov D. A., Skripnichenko V. I. Rework of the ERA software system: ERA 8 // Proceedings of the Journées 2014 «Systèmes de Référence Spatio-Temporels». Pulkovo observatory, 2015. P. 243–246.

Pitjeva E. V., Pavlov D. A., Aksim D. A., Kan M. Planetary and lunar ephemeris EPM2021 and its significance for Solar system research // Proceedings of the International Astronomical Union, Symposium S364. 2022. Vol. 15. P. 20–225.

Racket [Электронный ресурс]. URL: <https://racket-lang.org/> (дата обращения: 10.11.2023).

The Admiralty manual of navigation Vol 2: Astro Navigation. London: The Nautical Institute, 2018. 308 p.